

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400521

研究課題名(和文) 東南極に産する花崗岩類の精密解析による大陸衝突過程における火成活動の変遷解明

研究課題名(英文) Explication of igneous activities during continental collision process by analysis of granitic rocks distributed in East Antarctica

研究代表者

柚原 雅樹 (Yuhara, Masaki)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：30330898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：東-西 Gondwana 大陸の衝突域である東南極のセール・ロンダーネ山地西部において、原生代末期～古生代初期に活動したストック状および岩脈状花崗岩類の岩石学的、岩石化学的特徴を詳細に解析した。その結果、多くのストック状花崗岩類が、複数のマグマから形成された岩体であることが明らかになった。さらに、大陸衝突域から大陸域にいたる過程では、2つの地質体の累重による地殻の厚化に伴い、主に島弧地殻物質から構成される地殻深部から中部にかけて部分溶融が生じ、様々な花崗岩質マグマが生じたことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We analyzed petrography and petrochemistry of granitic stocks and dykes in western parts of the Sor Rondane Mountains of eastern Dronning Maud Land, located in continental collision zone between the West and East Gondwana, East Antarctica. Based on detail field survey and geochemical data, we made it clear that some granitic stocks are granitic complexes formed from various magmas, and that various granitic magmas generated by partial melting of crustal materials composed of island arc igneous rocks at middle to lower crust, which have been thickened by continental collision, during the late- to post-collisional stage.

研究分野：火成岩岩石学

キーワード：東南極 セール・ロンダーネ山地 花崗岩 火成活動 マグマの成因 同位体比 希土類元素

1. 研究開始当初の背景

南極大陸のセール・ロンダーネ山地に分布する火成岩は、変トータル岩バソリス、ストック状岩体と変成岩中に貫入する岩脈からなる。変トータル岩バソリスは、最近の研究により、約 1000Ma から 770Ma にかけての未成熟弧における火成活動の産物であることが明らかになっている(Kamei et al., 2013)。これに対して、古生代初期のストック状花崗岩体いくつかの岩体に区分されている。それらの花崗岩体についての詳細な岩石学的データは少ないものの、同位体年代(Shiraishi et al., 2008 など)が 530~500Ma を示すことから、この時期(パンアフリカン期)に活動したと考えられている。しかしながら、特にマグマの活動時期を示す年代値がすべての岩体から報告されているわけではなく、マグマの成因解明に大きく貢献する Sr・Nd 同位体比組成も十分に得られているとは言い難い。ストック状花崗岩体は、その化学組成からいくつかのグループに分けられ、成因が議論されている(Li et al., 2001, 2003)。しかしながら、データ数が少ないため、グループ全体としての議論が多く、採取試料にも偏りがあるため、十分な議論がなされているとは言えない。さらに、変成岩中には様々な規模の花崗岩岩脈が多く貫入しているおり、それらは貫入後様々に変形している。したがって、貫入時期と変形-変成作用との関係が把握しやすい。にもかかわらず、これまでほとんど手が付けられていなかった。

申請者らは第 50 次南極地域観測隊に参加し、セール・ロンダーネ山地西部域の地質調査を行った。その中で、いくつかのストック状岩体内で広範囲にわたる地質調査ならびに試料採取を実施した。その結果、岩体内での岩相変化を把握することができた。このことから、各花崗岩体での岩相や岩石化学組成の変化を詳細に捉え、そのデータを元に各マグマの成因と分化過程を解析することの必

要性を実感するに至った。また、広範囲にわたる野外調査により、様々な変形花崗岩岩脈を記載し、多数の試料の採取を行っており、複数の貫入時期を認定している。セール・ロンダーネ山地における火成活動は、東-西 Gondwana 大陸の衝突を挟む 770Ma から 550Ma のデータが無く、この時期の火成活動の存在およびその成因の議論が出来ない。花崗岩岩脈はこの時期に貫入している可能性が高く、この議論に極めて有用であると思われる。

2. 研究の目的

南極大陸のセール・ロンダーネ山地に分布する原生代末期~古生代初期のストック状および岩脈状花崗岩類の岩石学的特徴、岩石化学的特徴、同位体年代を詳細に解析し、各マグマの成因解明と、火成活動の時期の決定を行う。それらのデータをもとに、Gondwana 超大陸形成に伴う東-西 Gondwana 大陸の衝突過程における火成活動の変遷を考察する。

3. 研究の方法

本研究では、セール・ロンダーネ山地西部に分布するストック状花崗岩体であるピングピナネ花崗岩、ベンゲン花崗岩、ピキングヘグダ花崗岩およびルンケリッゲン花崗岩ならびに花崗岩体や変成岩中に貫入する花崗岩岩脈より採取された試料について、薄片観察、全岩主成分および微量元素分析(蛍光 X 線分析)、全岩希土類元素分析(LA-ICP-MS 分析)、Sr・Nd 同位体分析(TIMs 分析)を実施した(図 1)。これらはすべて Osanai et al. (2013) の西南テレーンに分布する。当初、SHRIMP 年代測定を実施する計画であったが、試料処理ならびに測定作業が遅れ、同岩体のジルコン年代が報告された(Elburg et al., 2016)ため、分析の主体を全岩希土類元素分析に切り替えて実施することになった。

これらのデータと、野外調査で得た観察記載をもとに、各岩体ならびに岩脈の岩相区分、区分された各岩相の成因解明を行った。最終的にはこれらの結果を総括し、主に大陸衝突期から後大陸衝突期の火成活動の変遷の解明を試みた。

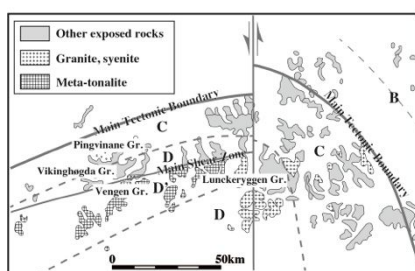


図1 セール・ロンダーネ山地のユニット区分とストック状花崗岩の位置

4. 研究成果

(1) ピングピナネ花崗岩 タンガーレンの北のヌナターク群に分布するピングピナネ花崗岩(図1)は、主に粗粒斑状の黒雲母-普通角閃石花崗岩～石英閃長岩からなる。本花崗岩から、 $528 \pm 4\text{Ma}$ のジルコン U-Pb 年代が報告されている(Elburg et al., 2016)。これまで単一の岩体として扱われていたが、岩相と全岩化学組成から3岩相(岩相A、B、Cと呼ぶ)に区分されることがわかった。岩相Aが岩体の主体をなし、岩相B、Cがそれに貫入すると考えられる。岩相Cは中粒塊状の黒雲母-普通角閃石花崗岩である。岩相AとBは記載岩石学的に区別することはできないが、Sr含有量が大きく異なる(岩相A: 400ppm前後、岩相B: 190ppm前後)。さらに、岩相CのSr含有量は30ppm程度である。この他、Zr含有量にも違いが認められる。このことは、3岩相が単一のマグマから分化したものではないことを示唆する。これら3岩相は、いずれもプレート内花崗岩の化学組成を有する。希土類元素の規格化パターンは、軽希土に富み、重希土に乏しく、負のEu異常を示す。このことから、斜長石の分別が示唆

される。岩相AとBのSr・Nd同位体比初生値は、未成熟島弧の火成活動の産物であるソレアイト質変トータル岩(Kamei et al., 2013)に類似する。岩相Cはこれらよりも高いSr同位体比初生値を示す。したがって、岩相AとBのマグマの起源物質は、変トータル岩を想定できるが、岩相Cのマグマの起源物質は変堆積岩を想定するのが妥当である。これらのことから、ピングピナネ花崗岩は、大陸内の火成活動により異なる組成の起源物質から生成された3種のマグマにより形成された複合岩体であると考えられる。

(2) ベンゲン花崗岩 カニノツメ峰を形成するベンゲン花崗岩(図1)は、主に中粒のマイロナイト化した黒雲母花崗岩からなり、優黒質ならびに優白質な細粒両雲母花崗岩岩脈に貫入される。これらはマイロナイト面構造を切り、優白質な細粒両雲母花崗岩岩脈は褶曲している。したがって、これらの岩脈の貫入は、マイロナイト化の前であると考えられる。本花崗岩からは、 $551 \pm 8\text{Ma}$ のジルコン U-Pb 年代が報告されている(Elburg et al., 2016)。ベンゲン花崗岩は高いSr含有量(720-1200ppm)とSr/Y比で特徴付けられるが、さらに高い K_2O 、Ba、Rb、Th、Zr含有量といった高Kアダカイトの特徴を有する。ベンゲン花崗岩は火山弧花崗岩あるいは衝突帯花崗岩に分類される。ベンゲン花崗岩の希土類元素の規格化パターンは、軽希土に富み、重希土に乏しいが、Eu異常は認められない。これらのパターンもアダカイトに類似する。Sr・Nd同位体比初生値は、ソレアイト質変トータル岩に類似する。したがって、ベンゲン花崗岩は東-西 Gondwana大陸の衝突によって厚化した(Osanai et al., 2013)地殻下部の部分溶融によって生成したマグマを起源とすると考えられる。さらに、その起源物質は、ソレアイト質変トータル岩に類似する。

(3) ピキングヘグダ花崗岩 ピキングヘグダ花崗岩(図1)はこれまでベンゲン花崗

岩と同一の岩体であると考えられてきた (Shiraishi et al., 2008 など) が、全く異なる化学組成を有する。したがって、ベンゲン花崗岩とビキングヘグダ花崗岩は区別して取り扱う必要がある。貫入関係から、ステージ1花崗岩、ステージ2花崗岩およびステージ3花崗岩の3つのグループに区分できる。ステージ1花崗岩は最も広く露出する花崗岩で、中粒～粗粒の黒雲母花崗岩である。面構造が発達し、一部褶曲している。ペグマタイト脈に貫入されるが、ペグマタイト脈も褶曲している。ステージ2花崗岩は、ステージ1花崗岩の面構造を切って岩脈状に貫入する細粒の黒雲母花崗岩である。ステージ3花崗岩は、ステージ1およびステージ2花崗岩に貫入する岩脈状の細粒黒雲母花崗岩で、直線的なペグマタイト脈に貫入される。すべてのステージの花崗岩には、一部マイロナイト化が認められる。

これらの花崗岩は、多くの元素で連続的な組成変化トレンドを示すが、ステージ2花崗岩は他と比べて Na_2O 、 Sr 、 V に富み、 K_2O 、 Th 、 Zr に乏しい。さらに、ベンゲン花崗岩と同様に、高い Sr 含有量 (約 600ppm) で特徴付けられ、 $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$ 図ではアダカイト領域にプロットされるが、一般的なアダカイトに類似した化学組成を有する。したがって、ステージ2花崗岩はベンゲン花崗岩とは成因が異なり、沈み込み帯における火成活動によって生成された可能性がある。さらにほとんど変形していないステージ3花崗岩は、大陸衝突後の火成活動の産物である可能性が高い。

(4) ルンケリッゲン花崗岩 ルンケリッゲン花崗岩 (図1) は、ベンゲン花崗岩と同様に高 K アダカイト的な化学組成を有することから、大陸内の同様な火成活動によって形成されたと考えられる。

(5) 花崗岩岩脈 花崗岩質岩脈は、変形-変成作用との関係から、変成作用中に貫入したグループ (Syn-kinematic 花崗岩岩脈) と

それ以降に貫入したグループ (Post-kinematic 花崗岩岩脈) に区分される。Syn-kinematic 花崗岩岩脈は、主に中～粗粒の黒雲母～両雲母花崗岩からなり、変成岩類に調和的あるいは非調和に貫入する。母岩の変成岩とほぼ平行な面構造を持ち、母岩とともに褶曲する場合もある。Post-kinematic 花崗岩岩脈は、主に細～粗粒の黒雲母～両雲母花崗岩からなり、変成岩に非調和に貫入する。面構造が発達する場合もあるが、貫入方向に平行である。ユニット D' の主体をなす変トータル岩 (図1) に貫入した Syn-kinematic 花崗岩岩脈は、変トータル岩と同様に、低い K_2O 含有量を示し、これらと類似した化学組成を有する。これに対し、ユニット C~D (図1) に分布する Syn-kinematic 花崗岩岩脈と Post-kinematic 花崗岩岩脈は類似した化学組成を持ち、多くはストック状花崗岩と同様に高い K_2O 含有量を示し、これらと類似した化学組成を有する。しかし、一部は変トータル岩と類似した化学組成をもつ。花崗岩岩脈のほとんどは、火山弧花崗岩に分類される。これらの花崗岩岩脈は、軽希土類元素に富み、重希土類元素に乏しいコンドライト規格化パターンを示すが、Syn-kinematic 花崗岩岩脈にはほぼフラットなパターンを示すものが、Post-kinematic 岩脈には軽希土類元素に乏しく重希土類元素に富むパターンを示すものが認められる。Eu 異常が認められるものが多いが、ユニット C~D の Syn-kinematic 花崗岩岩脈には正～負の異常を示すものが認められる。ユニット C~D の花崗岩岩脈の $\text{Sr} \cdot \text{Nd}$ 同位体比初生値は、一部は変トータル岩やストック状花崗岩と類似するが、多くはそれらよりも Sr 同位体比が高い。これらは、堆積岩源変成岩の関与が考えられ、ユニット C~D の花崗岩岩脈の起源マグマの多様性を示唆される。

以上のことから、大陸衝突前は Kamei et al. (2013) が示したように未成熟島弧における

火成活動と一連の活動によって、花崗岩岩脈が形成され、衝突後は北東テレーンの下に沈み込んだ南西テレーンの島弧地殻を起源物質とした火成活動が生じたと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計16件)

柚原雅樹, 岡野 修, 川野良信, 志賀島塩基性岩類のSr・Nd同位体比組成. 地質学雑誌, 査読有, 122, 2016, 505-508.

DOI: 10.5575/geosoc.2016.0019

Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Takazawa, E., Tsuchiya, N., Grantham, G.H., Kawakami, T., Ishikawa, M. and Osanai, Y., Sr and Nd Isotopic evidence in metacarbonate rocks for an extinct Island arc - ocean system in East Antarctica. Journal of Mineralogical and Petrological Science, 査読有, 111, 2016, 170-180.

DOI: 10.2465/jmps.151029a

Baba, S., Horie, K., Hokada, T., Owada, M., Adachi, T. and Shiraishi, K., Multiple collisions in the East African - Antarctica Orogen: Constrains from timing of metamorphism in the Filchnerfjella and Hochlinfjellet Terranes in Central Dronning Maud Land. Journal of Geology, 査読有, 123, 2015, 55-78.

DOI: 10.1086/679468

Kawakami, T., Nalano, N., Higashino, F., Hokada, T., Osanai, Y., Yuhara, M., Charusiri, P., Kamikubo, H., Yonemura, K. and Hirata, T., U-Pb zircon and CHIME monazite dating of granitoids and high-grade metamorphic rocks from the Eastern and Peninsular Thailand - A new report of Early Paleozoic granite. Lithos, 査読有, 200-201, 2014, 64-79.

DOI: 10.1016/j.lithos.2014.04.012

Osanai, Y., Nogi, Y., Baba, S., Nakano, N., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Owada, M., Satish-Kumar, M., Kamei, A. and Kitano, I., Geologic evolution of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Collision tectonics proposed based on metamorphic processes and magnetic anomalies. Precambrian Research, 査読有, 234, 2013, 8-29.

DOI: 10.1016/j.precamres.2013.05.017

Satish-Kumar, M., Hokada, T., Owada, M., Osanai, Y. and Shiraishi, K., Neoproterozoic orogens amalgamating East Gondwana: Did they cross each other? Precambrian Research, 査読有, 234, 2013, 1-7.

DOI: 10.1016/j.precamres.2013.06.010

Miyake, Y. and Hokada, T., First find of ferropseudobrookite in quartz from Napier Complex, East Antarctica. European Journal of Mineralogy, 査読有, 25, 2013, 33-38.

DOI: 10.1127/0935-1221/2013/0025-2256

Adachi, T., Hokada, T., Osanai, Y., Nakano, N., Baba, S. and Toyoshima, T., Contrasting metamorphic records and their implications for tectonic process in the central Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Moud Land, East Antarctica. Geological Society of London Special Publications, 査読有, 383, 2013, 113-133.

DOI: 10.144/SP383.4

[学会発表](計16件)

柚原雅樹 亀井淳志, 川野良信, 大和田正明, 志村俊昭, 東田和弘, ポスト・ゴンドワナ衝突期に活動したHigh-Kアダカイト: 東南極, セール・ロンダーネ山地, ベンゲン花崗岩の

例 第7回極域科学シンポジウム 2015.11.29, 国立極地研究所(東京都・立川市)。

柚原雅樹 亀井淳志 中野伸彦 大和田正明, 志村俊昭, 東田和弘, 小山内康人, 東南極, セール・ロンダーネ山地の花崗岩岩脈の全岩化学組成。第6回極域科学シンポジウム, 2015.11.16, 国立極地研究所(東京都・立川市)。

Yuhara, M., Kamei, A., Kawano, Y., Owada, M., Shimura, T. and Tsukada, K., Secular geochemical variations of the early Paleozoic granitic rocks in western part of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 12th International symposium on Gondwana to Asia & 2015 IAGR annual convention. 2015.10.21-23, 筑波大学(茨城県・つくば市)。

外田智千 堀江憲路 小山内康人 中野伸彦, 足立達朗, 豊島剛志, 馬場壮太郎, 東南極セール・ロンダーネ山地における角閃岩相変成作用。日本地質学会, 2015.9.13, 信州大学(長野県・長野市)。

Yuhara, M., Kamei, A., Nakano, N., Yoshimoto, A., Kawakami, T., Kamikubo, H., Osanai, Y. and Charusiri, P., REE and Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks from the Hua Hin area, Thailand. 日本地球惑星科学連合, 2015.5.27, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)。

Owada, M., Sakiyama, T., Kamei, A., Osanai, Y., Adachi, T., Horie, K. and Hokada, T., Late Proterozoic syenite magmatism in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. 日本地球惑星科学連合, 2015.5.27, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)。

柚原雅樹 亀井淳志 川野良信 大和田正明, 志村俊昭, 東田和弘, 東南極, セール・ロンダーネ山地のベンゲン花崗岩とピキングヘグダ花崗岩のSr・Nd同位体比組成。第5回極

域科学シンポジウム, 2014.12.2, 国立極地研究所(東京都・立川市)。

亀井淳志 大和田正明 志村俊昭 柚原雅樹, 東田和弘, 東南極セール・ロンダーネ山地に産する高Kアダカイト質花崗岩。日本鉱物科学会, 2014.9.18, 熊本大学(熊本県・熊本市)。

柚原雅樹 亀井淳志 大和田正明 志村俊昭, 東田和弘, 東南極, セール・ロンダーネ山地のピキングヘグダに分布する花崗岩の産状と化学組成。第33回極域地学シンポジウム, 2013.11.14, 国立極地研究所(東京都・立川市)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柚原 雅樹 (YUHARA Masaki)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号: 3 0 3 3 0 8 9 8

(2) 研究分担者

亀井 淳志 (KAMEI Atsushi)

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号: 6 0 3 7 9 6 9 1

外田 智千 (HOKADA Tomokazu)

国立極地研究所・教育研究系・准教授

研究者番号: 6 0 3 7 0 0 9 5